

В. А. Фролов, О. В. Якивчук, В. Ф. Фролов, Д. С. Ворошилов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск

kafomd_1@mail.ru

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук С. Б. Сидельников

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ И ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ

Изучена микроструктура опытных сплавов системы Al–Mg, экономно легированных скандием в литом, деформированном и отожженном состоянии. Установлено, что микроструктура всех образцов представляет собой твердый раствор на основе алюминия и частицы различных фаз, расположенных преимущественно по границам зерен, вытянутых в направлении деформации. Такая структура обеспечивает сравнительно высокие механические свойства листового проката, при этом с помощью отжига имеется возможность повышать его пластические характеристики.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, скандий, прокатка, отжиг, механические испытания, микроструктура, слитки, полуфабрикаты, деформация.

V. A. Frolov, O. V. Yakimuk, V. F. Frolov, D. S. Voroshilov

THE STUDY OF THE STRUCTURE OF CAST AND DEFORMED SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM ALUMINUM ALLOYS DOPED WITH SCANDIUM ECONOMICALLY

Given the microstructure of the experimental alloys of the system Al–Mg alloy with scandium economically as-cast, deformed and annealed condition. It is established that microstructure of all the samples after deformation contains intermetallic phase located mostly at the grain boundaries along the direction of deformation.

Keywords: aluminum alloys, scandium, rolling, annealing, mechanical testing, microstructure, ingots, semi-finished products, strain.

Решение проблемы повышения качества изделий для металлургической промышленности связано с разработкой и внедрением новых более прочных и коррозионно-стойких алюминиевых сплавов и технологий их обработки. Основной путь решения этой проблемы – повышение удельных прочностных характеристик конструкционных

материалов за счет применения алюминиевых сплавов с повышенными механическими свойствами и коррозионной стойкостью [1].

Создания новых деформируемых термически неупрочняемых алюминиевых сплавов с повышенным уровнем прочностных свойств решается путем легирования сплавов системы алюминий-магний нетрадиционным легирующим элементом - скандием. Легированные сплавы обладают достаточным сопротивлением коррозии во влажной атмосфере и способностью сильно упрочняться при холодной деформации. Кроме того, сварные соединения этих сплавов характеризуются достаточно высокой прочностью. Имея мелкозернистую структуру, они могут подвергаться большим пластическим деформациям без специальной подготовки, что используется для получения заготовок деталей сложных форм. Сплавы системы Al-Mg со скандием, благодаря высокой свариваемости и хорошему сочетанию прочностных, пластических и коррозионных свойств, находят применение в различных отраслях промышленности, таких как судо- и ракетостроение, авиа- и космическое машиностроение [2] и др.

Применение сплавов со скандием в настоящее время сдерживается сравнительно высокой их стоимостью. Однако необходимость снижения массы и металлоемкости конструкций позволяет прогнозировать их широкое применение в недалеком будущем при условии снижения цен на скандиевую лигатуру. В связи с этим актуальной задачей, которую в настоящее время решают специалисты компании «РУСАЛ» является получение сплавов с минимальным содержанием скандия, что позволит снизить себестоимость их производства и расширить рынок сбыта.

Для проведения исследований были изготовлены 9 сплавов двух партий литья с различным содержанием переходных металлов Cr, Zr, Mn, Sc, которые оказывают существенное влияние на механические свойства и коррозионную стойкость магниевых сплавов. Базовыми являлись сплавы 5083 (без скандия) и 1570 (с содержанием скандия 0,24 %). При изготовлении плоских слитков опытных сплавов содержание скандия варьировалось до минимальных значений 0,1–0,15 % за счет дополнительного введения в сплавы циркония, хрома и марганца. Методика их обработки и механические свойства литых, деформированных и отожженных полуфабрикатов приведены в работах [3].

Для анализа микроструктуры литых полуфабрикатов исследуемых сплавов были вырезаны и подготовлены образцы из центра боковой части слитка со стороны прибыли. В структуре образцов литых полуфабрикатов (рис. 1) грубых первичных кристаллов интерметаллидных фаз не выявлено. На следующем этапе исследования определяли размер зерна слитков опытных сплавов. Образцы для микроанализа предварительно оксидировали в растворе борной кислоты с целью нанесения анизотропной пленки на поверхность шлифов. Размер зерна рассчитывали в программе

AxioVision с использованием светового микроскопа Axio Observer.A1m. Микроскопическое изображение структуры оксидированных образцов получали при увеличении 50 крат.

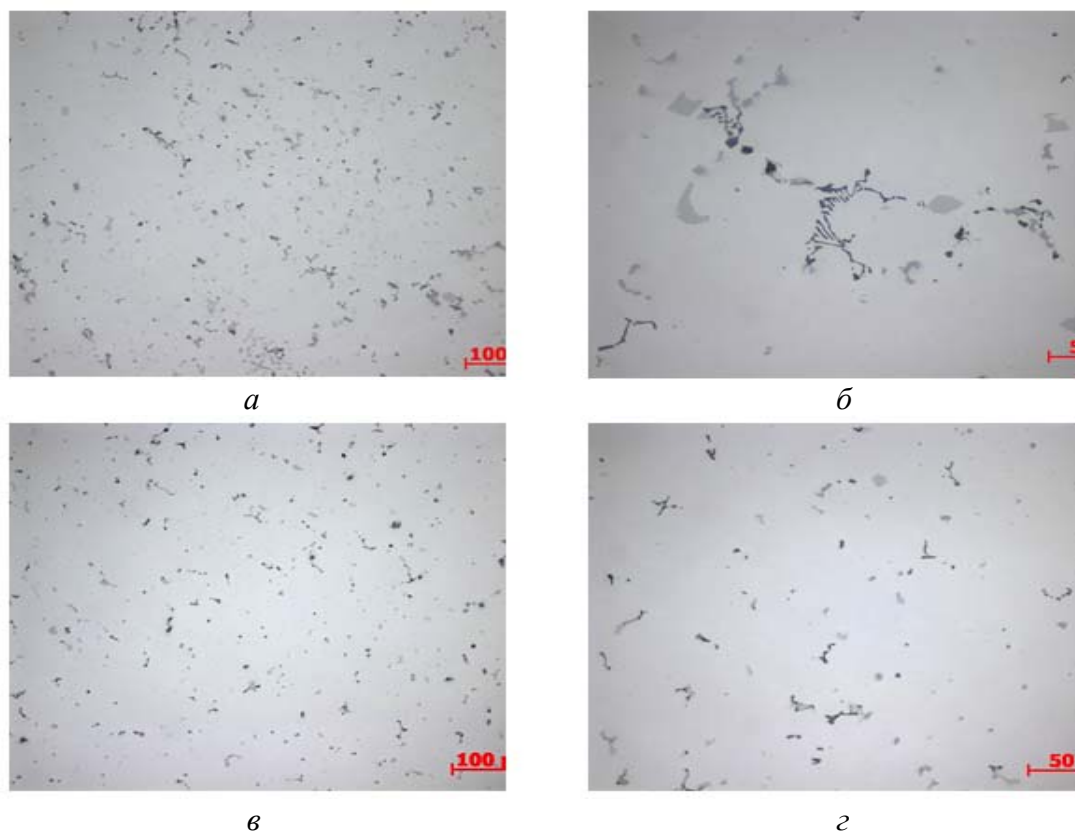


Рис. 1. Микроструктура сплава системы Al–Mg с содержанием скандия 0,10–0,12 %:
а, б – первая партия литья; в, г – вторая партия литья; увеличение $\times 200$ (а, в); $\times 500$ (б, г)

Известно, что Sc и Zr являются эффективными модификаторами структуры опытных сплавов. Мелкокристаллическое строение выявлено в образце сплава 1570 в обеих партиях литья, при этом размер зерна образца второй партии литья был значительно меньше (примерно в 2 раза) размера зерна первой партии того же сплава и составлял 65 мкм. Такое существенное измельчение литой структуры можно объяснить повышенным содержанием в составе сплава модификаторов Sc и Zr.

Для получения полуфабрикатов заданной толщины были реализованы высокие степени деформации при горячей и холодной прокатке. При холодной деформации изменилось структурное состояние металла, в результате чего зерна вытянулись в направлении деформации, образуя волокнистое строение (рис. 2).

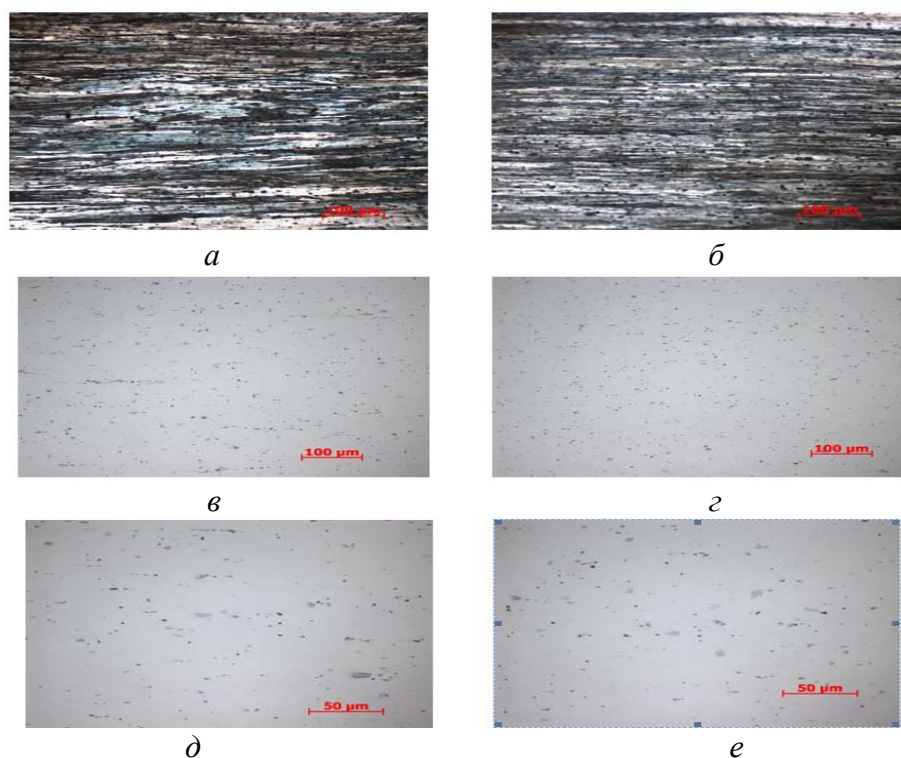


Рис. 2. Микроструктура образцов сплава с содержанием скандия 0,10–0,12% толщиной 1 мм: а, в, д – деформированные; б, г, е – после отжига; а, б – с оксидированием; в–е – без оксидирования; а–г – $\times 200$; д, е – $\times 500$

Увеличение степени деформации при получении полуфабрикатов приводило к их упрочнению и снижению пластичности. Для получения оптимального комплекса свойств деформированных изделий применили рекристаллизационный отжиг. В зависимости от химического состава сплава рекристаллизационные процессы могут начинаться при разных температурах. Большинство легирующих элементов, особенно переходные металлы, повышают температуру начала рекристаллизации сплава и тормозят развитие рекристаллизационных процессов. При нагреве сплавов Al–Mg, легированных скандием, происходит распад твердого раствора с образованием дисперсных когерентных выделений фазы Al_3Sc , оказывающих значительное упрочняющее действие и повышающих температуру рекристаллизации деформированного полуфабриката. Максимальное упрочнение достигается при нагреве до 300–400 °С, более высокие температуры приводят к коагуляции фазы Al_3Sc и разупрочнению. Добавка скандия совместно с цирконием позволили сохранить в полуфабрикатах после термообработки нерекристаллизованную структуру и получить за счет этого значительный эффект структурного упрочнения.

Для изучения возможности получения требуемого комплекса механических свойств проводили металлографический анализ образцов из исследуемых сплавов, толщиной 1 мм, полученных из заготовки толщиной 10 мм (см. рис. 2) .

На основе результатов проведенных исследований структуры литых и деформированных полуфабрикатов можно сделать следующие выводы:

- Sc и Zr являются эффективными модификаторами структуры опытных сплавов и позволяют получить достаточно мелкое зерно в структуре;
- структура всех исследуемых образцов в деформированном состоянии представляет собой твердый раствор на основе алюминия и частицы различных фаз, расположенных преимущественно по границам зерен, вытянутых в направлении деформации;
- исследование структуры образцов по проходам холодной прокатки показало, что с увеличением степени деформации происходит дробление интерметаллидных кристаллов с 15–25 мкм до размеров менее 5 мкм, и более равномерное их распределение по объему;
- грубых дефектов, расслоений в исследуемых полуфабрикатах не обнаружено.
- структура деформированных и отожженных полуфабрикатов обеспечивает получение требуемого комплекса механических свойств [3].

Статья подготовлена с использованием результатов работ, выполненных в ходе проекта 03.G25.31.0265 “Разработка экономнолегированных высокопрочных Al–Sc сплавов для применения в автомобильном транспорте и судоходстве” в рамках Программы реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, утвержденных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Ю. А. Роль и перспективы редкоземельных металлов в развитии физико-механических характеристик и областей применения деформируемых алюминиевых сплавов / Ю. А. Горбунов // Журнал сибирского федерального университета. 2015. С. 636–645. (Техника и технологии).
2. Филатов Ю. А. Исследование и разработка новых высокопрочных свариваемых сплавов на основе системы Al–Mg–Sc и технологических параметров производства из них деформированных полуфабрикатов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. А. Филатов. Москва, 2000. С. 50.
3. Фролов В. А. Исследование механических свойств полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, экономно легированных скандием // Инновационные процессы обработки металлов давлением: материалы II международной научно-практической конференции / под ред. М. В. Чукина. Магнитогорск : взд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2016. С. 23–24.